مطالعه فرسایش بین‌شیاری متأثر از سرعت‌های مختلف باد با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز همزمان باد، باران و رواناب

روح اله رضایی ارشد[۱] و مجید محمودآبادی[۲]
۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
E. mail: rezae805@gmail.com

چکیده

رگبارهای شدید و فرساینده، بطور معمول با وزش بادهای تند همراه است. هرچند شناخت اثرات متقابل باران و باد اهمیت ویژه‌ای در مطالعه فرسایش خاک دارد، تاکنون پژوهش جامعی در این زمینه و در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام نشده است. پژوهش حاضر به بررسی فرسایش بین‌شیاری ناشی از باران در حضور سرعت‌های مختلف باد بر روی چند خاک زراعی با استفاده از شبیه‌ساز همزمان باد، باران و رواناب می‌پردازد. چهار سرعت باد صفر، ۶، ۹ و ۱۲ متر در ثانیه در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری همزمان با سه شدت باران ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر در ساعت باران ایجاد و شدت فرسایش بین‌شیاری در سه خاک زراعی با بزرگترین اندازه ذرات ۲، ۴/۷۵ و ۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سرعت باد تأثیر معنی‌داری بر شدت فرسایش بین‌شیاری دارد طوری که در سرعت‌های بیشتر از ۶ متر بر ثانیه باد، شدت فرسایش با شدت بیشتری افزایش یافت. با افزایش شدت باران در سرعت‌هایی تند باد، فرسایش بین‌شیاری بطور قابل توجهی افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش، اهمیت و لزوم درنظرگرفتن سرعت باد بر نتایج فرسایش ناشی از باران را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: باران متأثر از باد، فرسایش بین شیاری، تونل باد، شبیه‌ساز فرسایش.

مقدمه

فرسایش بین شیاری یکی از انواع رایج فرسایش در اراضی زراعی و کشاورزی (Liu et al., 2006 ؛ Kinnell, 2005) می‌باشد که در مدل‌های جدید فرآیندی فرسایش خاک از فرسایش شیاری تفکیک شده است (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۹۲). فرسایش بین شیاری، در اثر جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط قطرات باران (Meyer و Harmon، 1984) و یا انتقال حاصل از جریان سطحی کم عمق (Barthes و Roose، 2002) رخ می‌دهد. در این نوع فرسایش، جدا شدن ذرات خاک توسط قطرات باران صورت می‌گیرد و جریان سطحی نقشی در جدا کردن ذرات خاک ندارد. عواملی که بیشترین تأثیر را بر این نوع فرسایش دارند شامل شدت بارندگی، شیب، شدت رواناب، عمق جریان و نوع خاک و اثرات متقابل بین آن‌ها می‌باشند (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۹۲).

در طبیعت، باران‌های شدید فرساینده معمولاً با بادهای تند همراه است. بنابراین، تعیین اثر متقابل باد و باران و اثرات باد بر روی فرآیند جدا شدن و انتقال ذرات تأثیر زیادی در بهبود برآورد فرسایش خاک توسط مدل‌های پیش‌بینی کننده‌ی فرسایش فراهم می‌کند (Erpul et al., 2003a). جدا شدن و انتقال ذرات در اثر باران متأثر از باد متفاوت از باران بدون باد است (De Lim, 1992). تعیین تأثیر باد روی فرسایش بارانی مشکل است و یک شکاف اطلاعاتی قابل تأمل در ارتباط با فرسایش بارانی متأثر از باد وجود دارد (Visser et al., 2004؛ Ravi et al., 2010؛ Ries et al., 2013). لذا، شبیه‌سازی دقیق شرایط طبیعی فرسایش نیاز به درک درستی از اثر باد بر روی قطرات باران دارد.

در باران‌های متأثر از باد، سرعت و جهت باد نه تنها انرژی قطرات در حال برخورد با سطح را بلکه هیدرولیک جریان‌های کم عمق را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد چرا که در اثر برخورد قطرات باران در پستی و بلندی‌های ریز سطح خاک تغییر ایجاد می‌شود

(Erpul et al., 2004). جریان باد بر روی سرعت برخورد، زاویه برخورد و فراوانی برخورد قطرات باران در واحد سطح تأثیر می‌گذارد و بسته به سرعت باد ذرات پاشمان یافته را تا مسافت‌های مختلفی انتقال می‌دهد (Erpul et al., 2003b). با وجود نقش مهمی که جریان باد بر قدرت فرسایندگی باران دارد ولی تاکنون پژوهشی در زمینه فرسایش ناشی از باران متأثر از باد در ایران انجام نشده است. این در حالی است که حتی پژوهش‌های انجام شده در دنیا نیز در این زمینه اندک بوده و نیاز به انجام آزمایش‌های بیشتر جهت شناخت فرآیندهای فرسایش ناشی از باران متأثر از باد است. لذا در این پژوهش با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز همزمان باد، باران و رواناب موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان که برای اولین بار در کشور طراحی و ساخته شده، تأثیر شدت‌های مختلف باران در شرایط حضور و عدم حضور باد با سرعت‌های متفاوت بر شدت فرسایش بین شیاری چند خاک با توزیع اندازه ذرات ثانویه مختلف مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش مطالعه فرسایش بین شیاری متأثر از باد، در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. به این منظور، از دستگاه شبیه‌ساز همزمان باد، باران و رواناب موجود در آزمایشگاه فرسایش و حفاظت خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده گردید. این دستگاه شامل سامانه‌های شبیه‌ساز باد، باران و رواناب است که این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان بطور همزمان اثر همه عوامل فرساینده را بر فرسایش آبی و بادی مطالعه نمود. این دستگاه قابلیت‌های منحصر به فردی دارد طوری که قادر است شدت‌های مختلف باران بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت را در حضور بادهایی با سرعت بین ۰/۵ تا ۳۰ متر در ثانیه (معادل ۱۷۵ کیلومتر در ساعت در ارتفاع ۱۰ متر) بر روی سطحی از خاک با طول تا ۷ متر شبیه‌سازی نماید. در این پژوهش، آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. بر این اساس، تیمارهای مورد مطالعه شامل سه خاک با توزیع اندازه ذرات ثانویه متفاوت (۲، ۴/۷۵ و ۸ میلی‌متر)، سه شدت باران ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلیمتر بر ساعت و چهار سرعت باد (صفر یا بدون حضور باد به عنوان شاهد، ۶، ۹ و ۱۲ متر بر ثانیه) در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری فرسایش بین‌شیاری تشتک مخصوص با طول یک متر مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام هر آزمایش، خاک مورد نظر به تشتک مخصوص منتقل و بطور کامل تسطیح شد، سپس اشباع تدریجی هر نمونه از زیر انجام شده و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع نگهداری می‌شد. در ادامه، زهکش تخلیه شده و نمونه خاک آماده آزمایش گردید. تشتک به داخل سامانه شبیه‌ساز همزمان باران، رواناب و باد منتقل شد و تیمارهای مورد مطالعه روی آن اعمال گردید. مدت زمان برای انجام هر آزمایش ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد که در هر آزمایش رواناب حاوی رسوب خروجی از سینی برای پنج دقیقه ابتدایی آزمایش هر یک دقیقه یکبار و در ادامه تا پایان آزمایش هر پنج دقیقه یکبار جمع آوری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و در نهایت شدت فرسایش بین شیاری محاسبه شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. به طور کلی، خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت لوم شنی هستند. کربن آلی کمتر از ۰/۶ درصد و کربنات کلسیم معادل بیش از ۱۰ درصد است.

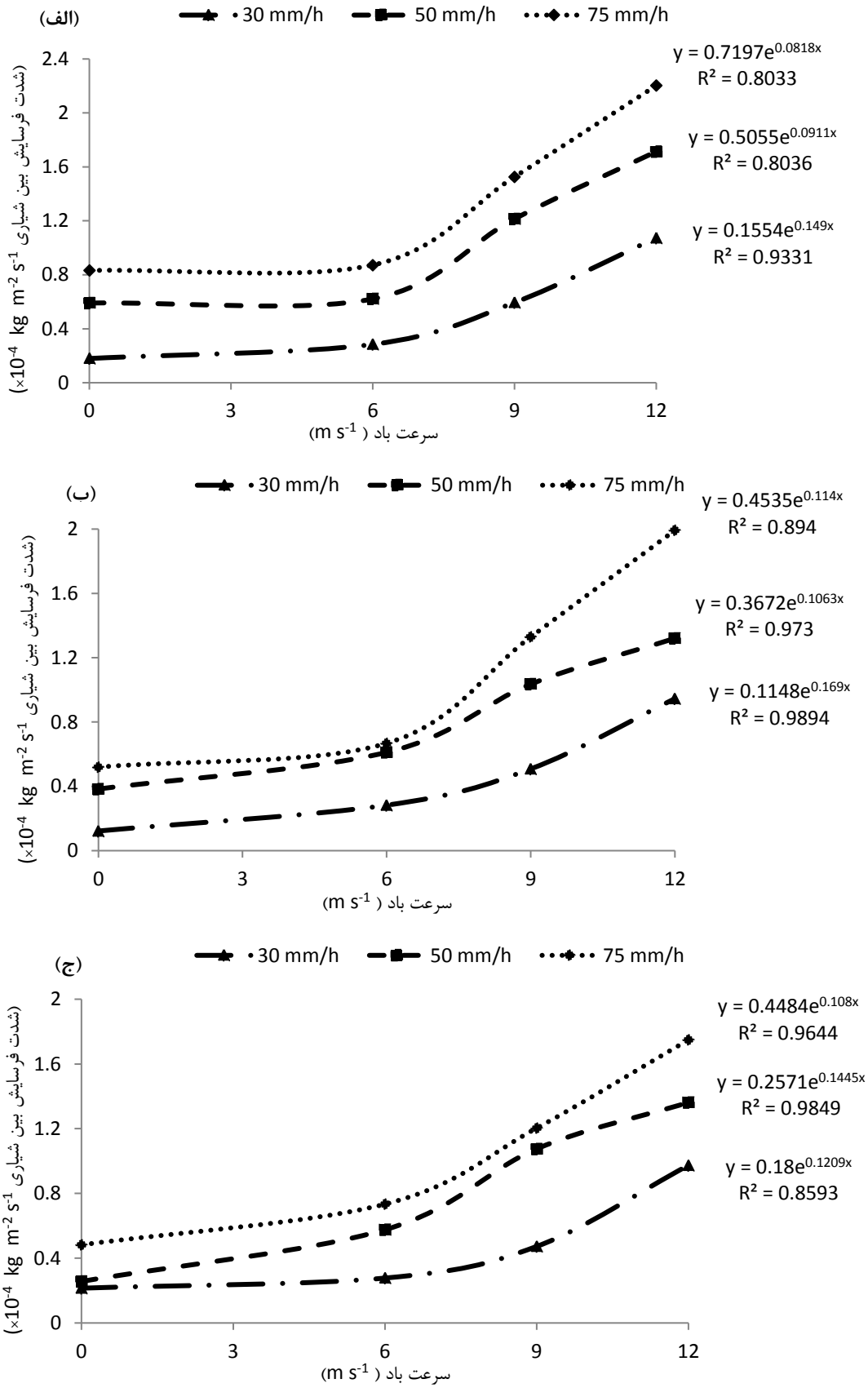
شدت فرسایش بین شیاری در عدم و در حضور سرعت‌های ۶، ۹ و ۱۲ متر بر ثانیه باد و در شدت‌های باران ۳۰، ۵۰ و ۷۵ میلیمتر برای خاک‌های با توزیع اندازه ذرات مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به تغییر در سرعت باد و شدت بارندگی، شدت‌های فرسایش متفاوتی رخ داده است. همان طور که مشاهده می‌شود برای هر سه خاک مورد مطالعه در یک سرعت مشخص باد با افزایش شدت بارندگی میزان فرسایش افزایش یافته است. خاک با ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر بدلیل داشتن خاکدانه‌های ریزتر بیشترین میزان فرسایش را نشان می‌دهد و در مقابل خاک با ذرات کوچکتر از ۸ میلی‌متر کمترین شدت فرسایش را دارد. در سرعت‌های صفر و ۶ متر بر ثانیه اختلاف اندکی بین میزان فرسایش مشاهده می شود ولی در سرعت‌های ۹ و ۱۲ متر بر ثانیه اختلاف زیادی بین فرسایش صورت گرفته در شدت‌های مختلف باران مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر Erpul et al., (2004) دلیل این اختلاف را افزایش زاویه برخورد قطرات باران که منجر به افزایش انرژی جنبشی

قطرات باران می‌شود، دانستند. همچنین در یک شدت مشخص باران، در هر سه خاک با افزایش سرعت باد، میزان فرسایش نیز روند افزایشی را نشان داده است که این روند در سرعت های صفر و ۶ متر در ثانیه باد شیب اندکی داشته و اختلاف این دو سرعت از نظر تأثیر بر قدرت فرسایندگی باران ناچیز بوده، ولی در سرعت‌های بیشتر باد منحنی با شیب بیشتری در حال افزایش است که نشان از تأثیر بسیار بیشتر سرعت‌های ۹ و ۱۲ متر در ثانیه باد بر میزان فرسایش بین شیاری بدلیل قدرت فرسایندگی بیشتر باد دارد. برای مثال برای شدت ۳۰ میلیمتر در ساعت در خاک با اندازه ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر میزان فرسایش در حضور سرعت باد ۱۲ متر در ثانیه، شش برابر بیشتر از سرعت صفر باد می‌باشد که به دلیل افزایش سرعت سقوط نهایی قطرات در لحظه برخورد با سطح است. برخی پژوهشگران نظیر Erpul et al., (2003a) این افزایش شدت فرسایش با افزایش سرعت باد را به دلیل تأثیر باد بر روی سرعت، فراوانی و زاویه برخورد قطرات باران می‌دانند که در نهایت منجر با تأثیر معنی داری بر روی جداسازی و انتقال ذرات خاک می‌شود.

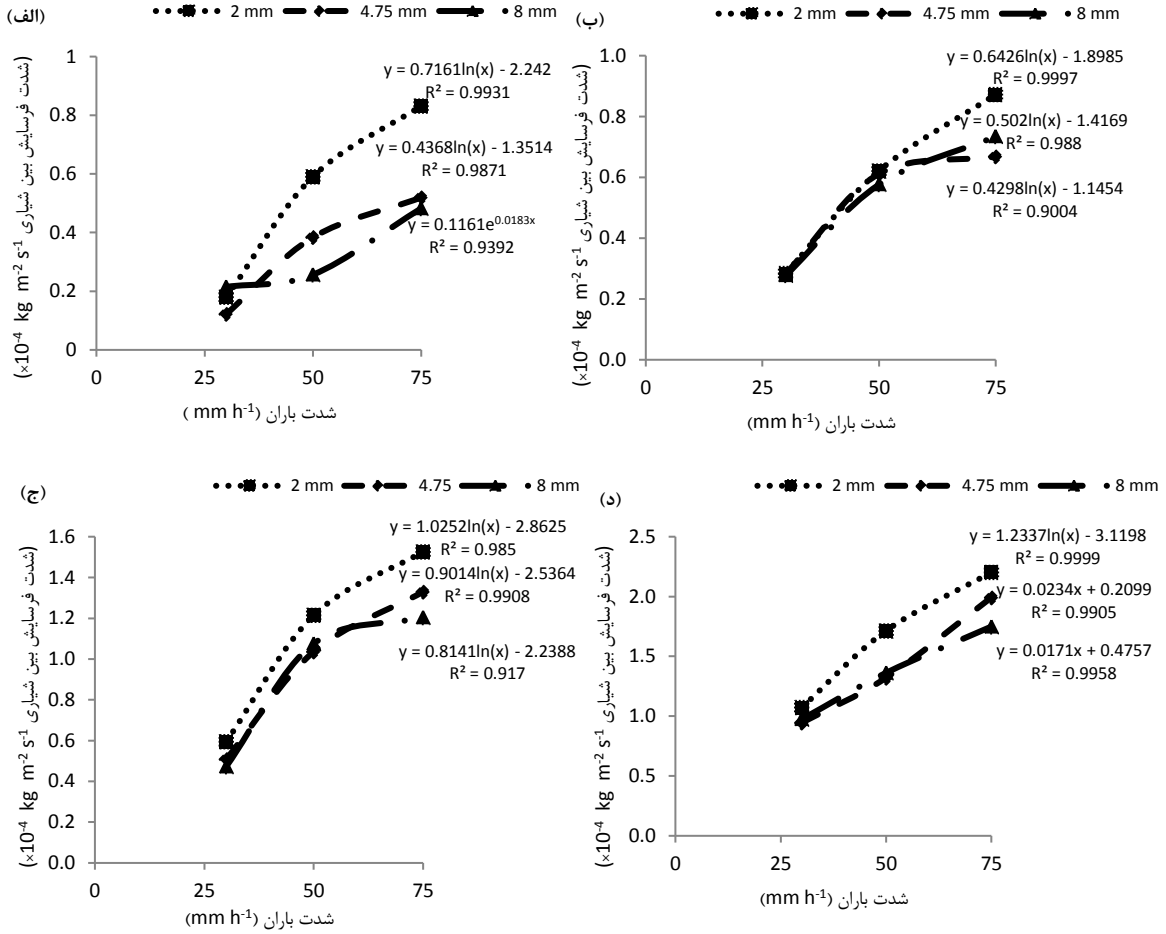
جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی	واحد	خاک ۲ میلی متر	خاک ۴/۷۵ میلی متر	خاک ۸ میلی متر
pH	-	۷/۶۹	۷/۸۳	۷/۶۸
EC	$dS\ m^{-1}$	۳/۳۵	۳/۷۰	۳/۷۵
کربنات کلسیم معادل	درصد	۱۴	۱۳/۵	۱۳/۵
جرم مخصوص ظاهری	گرم بر سانتی‌متر مکعب	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۴۷
کربن آلی	درصد	۰/۱۹۵	۰/۵۸	۰/۳۹
کلاس بافت	-	شن لومی	شن لومی	شن لومی

در شکل ۲ میانگین شدت فرسایش بین شیاری در سه خاک با بزرگترین اندازه ذره ۲، ۴/۷۵ و ۸ میلی‌متر در حضور شدت‌های مختلف باران برای چهار شدت باد اعمال شده قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد که در بیشتر موارد، در سرعت-های باد مورد مطالعه رابطه بین شدت فرسایش بین شیاری و شدت باران در هر سه خاک یک رابطه لگاریتمی با ضریب تبیین بالای ۹۰ درصد بود مگر در مورد سرعت ۱۲ متر بر ثانیه که برای خاکهای با حداکثر اندازه ذرات ۴/۷۵ و ۸ میلی‌متر یک رابطه خطی و مثبت بین شدت فرسایش با شدت باران وجود داشت. بیشترین شیب منحنی که نشان دهنده بیشترین میزان فرسایش می‌باشد بین شدت ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر به خصوص برای خاک ۲ میلی‌متر شاهد شد. بین شدت ۵۰ و ۷۵ از شدت این شیب کاسته شده است که نشان دهنده این است که فرسایش با روند آهسته‌تری در حال افزایش است که البته این روند برای سرعت‌های صفر تا ۹ متر در ثانیه باد حاکم است و برای سرعت ۱۲ متر در ثانیه این روند خطی می‌باشد و با افزایش شدت باران فرسایش بصورت خطی افزایش می‌یابد.



شکل ۱- مقایسه شدت فرسایش بین شیاری در سرعت های مختلف باد و در حضور شدت های متفاوت باران برای خاکهای با ذرات کوچکتر از (الف) ۲ میلی‌متر، (ب) ۴/۷۵ میلی‌متر و (ج) ۸ میلی‌متر



شکل ۲- مقایسه شدت فرسایش بین شیاری در شدت های متفاوت باران در سه خاک با توزیع اندازه ذرات مختلف برای سرعت‌های متفاوت باد شامل (الف) صفر، (ب) ۶ متر بر ثانیه، (ج) ۹ متر بر ثانیه، (د) ۱۲ متر بر ثانیه

نتیجه گیری

در اقلیم‌های خشک و نیمه خشکی مانند ایران، بطور معمول بارش‌ها به صورت رگباری و همراه با وزش بادهای تند می‌باشد. با وجود تأثیر بسزایی که باد بر قدرت فرسایندگی باران دارد ولی عمده‌ی تحقیقات انجام شده فرآیندهای فرسایش آبی و بادی را جداگانه بررسی کرده‌اند. از این رو هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر همزمان عامل فرساینده باد و باران بر فرسایش بین شیاری خاک می‌باشد. نتایج دلالت بر این داشت که سرعت باد تأثیر زیادی بر شدت فرسایش بین شیاری داشته است. سرعت‌های بالای ۶ متر بر ثانیه تأثیر بیشتری بخصوص در شدت‌های بالای باران بر شدت فرسایش بین شیاری داشتند که این تأثیر بعلت افزایش سرعت و فراوانی برخورد قطرات بر واحد سطح خاک با افزایش سرعت باد بوده است و از طرفی دیگر با افزایش سرعت باد ذرات پاشمان شده تا مسافت بیشتری منتقل می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که خاک با ذرات ریزتر به دلیل داشتن خاکدانه‌های ریزتر و زبری سطحی کمتر حساسیت بیشتری را نسبت به خاک با ذرات درشت در برابر فرسایش ناشی از باران بخصوص در سرعت‌های بالای باد دارد.

منابع

محمودآبادی، م. رفاهی، ح. ق. و روحی‌پور، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل فرآیندی WEPP در برآورد شدت فرسایش بین‌شیاری با استفاده از شبیه‌ساز باران. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد ۲۷، شماره ۱. صفحه‌های ۲۳-۳۴.

Barthes B., Roose E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: Validation at several levels. Catena, 47: 133-149.

De Lima J.L.M.P., Van Dijck P.M., Spaan W.P. 1992. Splash-saltation transport under wind-driven rain. Soil Technol. 5: 151-166.
Erpul G., Gabriels D., Norton L.D. 2003b. The Combined Effect of Wind and Rain on Interrill Erosion Processes. Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, 3–21 March 2003.
Erpul G., Gabriels D., Norton L.D. 2004. Wind effects on sediment transport by raindrop-impacted shallow flow: a wind tunnel study. Earth Surf. Process. Landf. 29: 955-967.
Erpul G., Norton LD., Gabriels D. 2003a. Sediment transport from interrill areas under wind-driven rain. J. Hydrol. 276: 184–197.
Kinnell P.I.A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: A review. Hydro. Process. 19: 2815–2844.
Liu Q.Q., Xiang H., Singh V.P. 2006. A simulation model for unified interrill erosion and rill erosion on hillslopes. Hydrol. Process. 20: 469– 486.
Meyer L.D., Harmon W.C. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1152-1157.
Ravi S., Breshears D.D., Huxman T.E., D'Odorico P. 2010. Land degradation in drylands: interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. Geomorphology, 116: 236–245.
Ries J.B., Iserloh T., Seeger M., Gabriels D. 2013. Rainfall simulations—constraints, needs and challenges for a future use in soil erosion research. Z. Geomorphol. 57(1): 1–10.
Visser S.M., Sterk G., Ribolzi O., 2004. Techniques for simultaneous quantification of wind and water erosion in semi-arid regions. J. Arid Environ. 59: 699–717.

Study of interrill erosion affected by various wind speeds using Simultaneous Wind--Rainfall--Runoff Simulator

R. Rezaei Arshad[1] and M. Mahmoodabadi[2]
1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman.
2. Associate Prof., Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman.

E. mail: rezae805@gmail.com
E. mail: mahmoodabadi@uk.ac.ir

Abstract
Under natural conditions, severe and erosive storms commonly associate with strong winds. Therefore, it is necessary to understand the interactions between wind and rain on soil erosion. However, no comprehensive research on this topic under controlled laboratory conditions has been done. This study was conducted to investigate interrill erosion caused by rain at the presence of different wind speeds on different soils with different secondary particle size distributions using Simultaneous Wind-Rainfall-Runoff Simulator (SWRRS). For this purpose, four constant wind speeds of 0, 6, 9 and 12 m s^{-1} at the height of 40 cm were introduced to three rain intensities of 30, 50 and 75 mm h^{-1} and then interrill erosion rate measured for three cropland soils. Results showed that wind velocity has significant effect on interrill erosion so that, for wind speeds higher than 6 m s^{-1}, interrill erosion increased considerably. Also, higher interrill erosion rates were observed at higher rain intensities, particularly those accompanied with faster wind speeds. The findings of this study showed the importance and necessity of considering wind speed in the study of rain-induced erosion.

Keywords: Wind-driven rain, Interrill erosion, Wind tunnel, Erosion simulator.